

不同材料覆盖对玉米生长及水分利用效率影响

匡恩俊¹, 宿庆瑞¹, 迟凤琴¹, 张久明¹, 高中超¹, 朱宝国²

(1. 黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所, 黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室, 黑龙江省肥料工程技术研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省农业科学院 佳木斯分院, 黑龙江 佳木斯 154007)

摘要: 采用随机区组试验, 对比研究了光降解地膜覆盖 (M)、聚乙烯地膜覆盖 (J)、秸秆整棵覆盖 (S)、液体地膜地面喷洒 (Y)、黄腐酸蒸腾抑制剂叶喷 (FA) 等不同减蒸方式在不同蒸发量地区 (嫩江和大庆) 的土壤水分、温度的变化和玉米生长状况及水分利用效率。结果表明: 不同处理水分差异较大, 地表有覆盖物均可提高土壤含水量。拔节期, J、M、S 覆盖都高于对照, 嫩江和大庆试验区依次高出 88.2% 和 64.5%、32.2% 和 27.2%、24.0% 和 13.6%, 嫩江达到差异显著水平 ($p < 0.05$); 开花期, 2 个试验区只有 S 与其他处理差异达到显著水平 ($p < 0.05$)。地膜覆盖提高土壤温度 0.6℃ ~ 0.9℃ (嫩江)、1.2℃ ~ 1.5℃ (大庆), 秸秆覆盖降低温度 0.5℃ ~ 1.0℃ (嫩江)、0.3℃ 左右 (大庆)。FA 叶面喷施后嫩江和大庆玉米叶面蒸腾速率与对照相比减少 29.5%、24.3%, 气孔导度减少 30.6%、15.5%, 净光合速率增加 16.7%、10.9%。M 和 J 覆盖的产量最高, 而 S 覆盖减产幅度为 6.2% ~ 10.0%。水分利用效率与产量呈正相关趋势, 利用率最高的为 J 和 M 覆盖, 分别比对照提高了 19.0% 和 18.1% (嫩江)、20.2% 和 19.5% (大庆); 水分利用率最低的为 S 覆盖, 比对照降低了 5.4% (嫩江) 和 9.2% (大庆)。覆盖减蒸技术对于蒸发量大的地区效果明显。图 1, 表 7, 参 28。

关键词: 玉米; 不同覆盖材料; 水分利用效率; 产量

中图分类号: S513; S157.4

文献标识码: A

Effect of Mulching Materials on Maize Growth and Water Use Efficiency

KUANG Enjun¹, SU Qingrui¹, CHI Fengqin¹, ZHANG Jiuming¹, GAO Zhongchao¹, ZHU Baoguo²

(1. Institute of Soil Fertilizer and Environment Resource, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, The Key Laboratory of Soil Environment and Plant Nutrition of Heilongjiang Province, Heilongjiang Fertilizer Engineering Research Centre, Harbin 150086, China; 2. Jiamusi Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi 154007, China)

Abstract: Using a randomized block design in Nenjiang and Daqing regions of Heilongjiang province, we studied the effect of different mulching materials including the photo-degradation film (M), plastic film (J), maize straw (S), liquid film (Y), and fulvic acid foliar spray (FA), on soil moisture, temperature, maize growth and water use efficiency (WUE). The results showed significant differences in soil moisture between different treatments, and the surface mulching improved soil moisture content. At the elongation stage of maize, compared with control, the soil moisture in J, M and S treatments increased 88.2%, 64.5% and 32.2% in Nenjiang region and 27.2%, 24.0% and 13.6% in Daqing region, respectively; all treatments in Nenjiang region reached a significant level ($p < 0.05$). At flowering stage of maize, compared with control, only S treatment reached a significant level ($p < 0.05$). Compared with control, J treatment increased soil temperature by 0.6℃ ~ 0.9℃ in Nenjiang region and 1.2℃ ~ 1.5 in Daqing region, respectively; while S treatment dropped soil temperature by 0.5℃ ~ 1.0℃ in Nenjiang region and 0.3℃ in Daqing region, respectively. Compared with control, FA treatment decreased leaf transpiration rate and stomatal conductance declined by 29.5% and 30.6% in Nenjiang region and 24.3% and 15.5% in Daqing region, respectively; while raised net photosynthetic rate by 16.7% in Nenjiang region and 10.9% in Daqing region, respectively. Compared with control, M and J treatments increased maize yield significantly; while S treatment reduced maize yield by 6.2% ~ 10.0%. WUE had a positive correlation with yield; compared with control, J and M treatments enhanced WUE by 19.0% and 18.1% in Nenjiang region and 20.2% and 19.5% in Daqing region, respectively; while S treatment reduced WUE by 5.4% in Nenjiang region and 9.2% in Daqing region, respectively. The mulching technology would be more effective in the region with more amount of evaporation.

Key words: maize; mulching materials; water use efficiency; yield

收稿日期: 2016-08-09; 修回日期: 2016-10-08.

基金项目: 国家科技支撑计划 (2013BAD07B01-02); 2013 年黑龙江省农业科技创新工程重点资助项目; 国家重点研发计划项目 (2016YFD0300806-2); “十二五”国家科技支撑计划资助项目 (2012BAD05B01); 公益性行业 (农业) 科研专项 (201303126)。

第一作者简介: 匡恩俊 (1982-), 女, 黑龙江海林人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为土壤肥力。

通讯作者: 宿庆瑞 (1962-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 研究员, 主要从事节水保肥、土壤肥力等方面的研究。

0 引言

蒸发量大于降雨量的北方旱作农区, 农田覆盖可保墒蓄水^[1-2]、调节土温、提高作物水分利用效率^[3-4], 并能大幅度提高作物产量^[5]。目前生产应用的覆盖材料主要有: 作物秸秆^[6]、生物降解地膜^[7]、光降解地膜、液态膜^[8]和塑料地膜等。研究表明地膜覆盖使玉米生育前期 0~25 cm 土层的日平均温度比对照提高 2.2℃~3.0℃, 0~10 cm 土层含水量比裸露地增加 18.8%, 产量提高 19.2%^[9]; 地膜覆盖对低温冷害有一定的防御作用, 在东北积温相对较低的地区, 玉米地膜覆盖增产率达 35%~55%^[10], 地膜覆盖后土壤储水量增加, 农田蒸散量减小^[11]。为了减少地膜覆盖产生的环境污染问题而开发的降解地膜覆盖种植也具有保温保水的作用^[12-13]。液态膜是新型覆盖材料, 能够直接地面喷雾成膜, 使用方便, 低水分处理下液膜覆盖增产率达 57%^[8]。对环境的日益关注使秸秆覆盖技术在农业生产中得到重视, 秸秆覆盖可抑制土壤蒸发, 增加降水入渗, 随着秸秆的腐烂还田, 土壤的水肥气热得到改善^[6]。宁夏南部玉米休闲田秸秆全量覆盖还田的土壤贮水量比秸秆半量还田增加 12.7 mm, 比无覆盖增加 28.4 mm^[14]。农田覆盖材料的选用, 不仅考虑其增温保墒、调水等效果, 还应重视对环境的影响。东北典型地区平均地膜农残已经达到 2.43 kg·hm⁻²^[15], 对农业可持续发展构成严重威胁。目前, 就覆盖材料本身特性而言, 光降解膜、生物降解膜的实用性还不是很强, 降解速度与膜强度的矛盾问题还没有得到解决, 覆盖方式不当, 也有地膜和秸秆覆盖减产的效果^[16]。本文针对黑龙江省粮食主产区嫩江和大庆两地蒸发量大于降雨量的特点, 通过研究不同覆盖材料调节土壤环境和影响作物的生理生态差异, 为旱地覆盖节水栽培技术和生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

黑龙江省西北部的嫩江试验区, 土壤为厚层粘底黑土, 属中温带大陆性季风气候, 历年平均气温 -0.1℃, 无霜期 105 d, 降水量 570 mm, 蒸发量 719 mm, 有效积温 2 571.2℃, 历年有效积温为 2 283℃。

黑龙江省西部的大庆试验区, 土壤为中层沙底草甸黑钙土, 历年平均气温 4.2℃, 无霜期 143 d, 降水量 427 mm, 蒸发量 1 635 mm, 有效积温 2 041.5℃, 历年有效积温 2 252℃。两试验点的基本理化性质见表 1。

表 1 试验区土壤理化性质

Tab. 1 Soil physical and chemical properties in experimental regions

地点 Site	有机质 SOM (g·kg ⁻¹)	全氮 Total N (g·kg ⁻¹)	全磷 Total P (g·kg ⁻¹)	全钾 Total K (g·kg ⁻¹)	碱解氮 Available N (mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available P (mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K (mg·kg ⁻¹)	pH 值	容重 Bulk density (g·cm ⁻³)	田间持水量 Field capacity (%)
嫩江 Nenjiang	41.1	2.18	1.72	21.0	166.9	49.5	251	6.26	1.15	30.8
大庆 Daqing	27.6	1.80	1.19	22.9	154.0	15.6	218	7.97	1.55	25.7

5 月到 9 月累计降雨量, 嫩江和大庆分别超出历年同期 103.3 mm 和 71.6 mm (表 2); 两地气温超过历年同期平均水平 5.3℃ (嫩江) 和 2.2℃ (大庆); 有效积温嫩江高于历年同期 288.2℃, 大庆低于历年 210.7℃。

1.2 试验材料

2 个试验区供试玉米品种均为德美亚 2 号, 覆盖材料分别为: 玉米秸秆 (上一年收获)、金河液体地膜 (江苏连云港)、光降解地膜 (吉林省农业科学院)、聚乙烯地膜 (哈尔滨塑料五厂)、黄腐酸 (FA) 蒸腾抑制剂 (新疆双龙腐殖酸有限公司)。

表2 试验区气象数据 (气象局提供)
Tab.2 Meteorological data in experimental regions

月份 Month	嫩江 Nenjiang region		大庆 Daqing region	
	2014 平均气温	2014 降水量	2014 平均气温	2014 降水量
	Average temperature (°C)	Precipitation (mm)	Average temperature (°C)	Precipitation (mm)
5 月 May	12.9	82.3	14.6	61.7
6 月 June	21.4	44.5	23.3	104.6
7 月 July	20.5	133.8	23.3	159.6
8 月 August	20.2	176.3	22.0	60.4
9 月 September	12.2	92.4	15.6	60.5

1.3 试验设计

2 个试验地设置相同试验, 6 个处理: ①玉米秸秆行间整棵覆盖 (S), 免中耕。玉米播种后, 将玉米秸秆整棵沿垄向棵间覆盖于垄沟, 7 500 kg·hm⁻²。②液体地膜覆盖 (Y), 播种后喷雾, 30 kg·hm⁻², 稀释 30~40 倍, 免中耕。③光降解地膜覆盖 (M), 免中耕。④聚乙烯地膜覆盖 (J), 免中耕。⑤黄腐酸 (FA) 蒸腾抑制剂叶喷, 免中耕。拔节期 (第六叶完全展开) 土壤中度以上干旱时叶面喷施。80ppm FA 溶液 450 kg·hm⁻²。其他 5 个处理同期喷施等量清水。⑥对照, 常规种植, 免中耕。

每小区 6 垄 (垄宽 70 cm), 10 m 长, 3 次重复, 随机区组排列; 底肥一次性施入缓释肥料 (23-11-12) 525 kg·hm⁻², 统一田间管理。

1.4 测试项目及方法

土壤基本理化性质: 按照 S 点取样法采集 0~20 cm 耕层土壤, 在垄台的侧面取样, 土壤化学性质按照常规方法^[17]测定碱解氮 (碱解扩散法)、有效磷 (Olsen 法)、速效钾 (乙酸铵浸提火焰光度法); 容重及田间持水量 (环刀法); 土壤含水量及地温 (AZS-100 水分仪);

光合速率: 选择晴朗天气的上午 9 时到 11 时, 采用美国 CIRAS-2 型便携式光合仪测定玉米上 3 叶的光合指标, 测定部位为中上部, 避开主脉。玉米成熟后, 取小区中间 2 垄 10 穗测产。

地温: 地温为 0~20 cm 层次, 测定时间为下午 1 时。

水分利用效率: 作物水分利用效率指作物单位耗水量产出的籽粒产量:

$$WUE = Y/ETa$$

式中: WUE—作物水分利用效率, kg·mm⁻¹·hm⁻²; Y—作物单位面积产量, kg·hm⁻²; ETa = (P + I - ΔW) —作物耗水量, mm; P—作物生育期大气降水量, mm; I—作物生育期灌溉水量, mm; ΔW—作物收获时与播种时土壤储水量之差, mm。

试验所得数据用 Excel2007 和 SPSS17 专业版数据处理系统进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤含水量及地温的影响

土壤含水量直接反映出土壤水分的丰缺程度, 通常情况下, 在松嫩平原西部、北部地区, 影响作物产量的主要因素就是土壤水分。2 个试验地生育期的调查显示: 地表有覆盖物均可提高土壤含水量, J、M 和 S 处理均高于对照 (表 3), 且差异都达到显著水平 ($p < 0.05$)。拔节期土壤含水量依次比对照高 88.2%、64.5%、32.2% (嫩江), 27.2%、24.0% 和 13.6% (大庆); 开花期依次高 4.9%、10.7%、20.4% (嫩江), 14.3%、9.9% 和 26.4% (大庆); 到蜡熟期 2 试验地均以 S 处理土壤含水量最高。在本试验中, Y 和 FA 处理的土壤含水量与对照无明显差别。地膜覆盖的保水效果在生育前期较为明显, 生育后期秸秆覆盖的保水效果逐渐增强。

表 3 不同处理土壤含水量变化 (%)

Tab. 3 Soil moisture content in different treatments

处理 Treatment	嫩江 Nenjiang region			大庆 Daqing region		
	拔节期	开花期	蜡熟期	拔节期	开花期	蜡熟期
	Jointing stage	Flowering stage	Ripening stage	Jointing stage	Flowering stage	Ripening stage
S	12.3 ± 1.2 b	27.1 ± 0.9 a	23.5 ± 0.7 a	14.2 ± 0.4 b	23.0 ± 1.2 a	20.6 ± 1.0 a
Y	9.2 ± 0.6 c	22.3 ± 0.4 c	20.8 ± 1.4 b	12.7 ± 0.6 c	18.6 ± 0.8 bc	18.7 ± 0.8 bc
M	15.3 ± 0.7 a	24.9 ± 1.0 b	22.2 ± 0.9 ab	15.5 ± 0.6 a	20.0 ± 1.3 bc	18.8 ± 1.0 bc
J	17.5 ± 0.9 a	23.6 ± 0.4 bc	20.7 ± 1.1 b	15.9 ± 0.9 a	20.8 ± 2.1 ab	18.0 ± 0.7 c
FA	9.1 ± 0.9 c	21.9 ± 1.5 c	21.6 ± 1.7 b	12.2 ± 0.4 c	18.0 ± 0.9 c	19.7 ± 0.4 ab
Control	9.3 ± 0.9 c	22.5 ± 1.3 c	21.3 ± 0.5 b	12.5 ± 0.6 c	18.2 ± 0.5 c	19.0 ± 0.5 b

注: 同一列内数据后不同字母表示在 0.05 水平上差异显著 (数据为平均值 ± 标准差, 重复数为 n=3)。

Note: Different letters in one line mean significant differences at 0.05 level (data is average ± standard deviation, number of replication is 3).

2 个试验区地温呈现相同趋势, 即在玉米拔节期和开花期, J 处理地温最高, 其次是 M 处理; S 处理的温度在玉米整个生育期均为最低, 拔节期嫩江和大庆两区分别比对照低 0.6℃ 和 0.9℃; 开花期和蜡熟期嫩江低于对照 0.5℃ ~ 1.0℃, 大庆低于对照 0.4℃, 见表 4。其他处理间无明显差别。两地试验结果可以看出, 不同处理措施在玉米拔节期前效果相对较好, 随着玉米的生长, 地面覆盖度增大, 作物棵间土壤接受太阳辐射强度降低, 各处理间地温呈现逐渐接近的趋势。

表 4 不同处理土壤温度变化 (℃)

Tab. 4 Soil temperature in different treatments

处理 Treatment	嫩江 Nenjiang			大庆 Daqing		
	拔节期	开花期	蜡熟期	拔节期	开花期	蜡熟期
	Jointing stage	Flowering stage	Ripening stage	Jointing stage	Flowering stage	Ripening stage
S	26.2 ± 0.9	23.0 ± 0.1	21.8 ± 0.2	25.2 ± 0.1	34.6 ± 0.2	17.2 ± 0.1
Y	27.0 ± 0.2	24.2 ± 0.2	22.2 ± 0.1	25.5 ± 0.1	34.9 ± 0.1	17.3 ± 0.1
M	27.4 ± 0.4	23.9 ± 0.3	22.1 ± 0.1	27.3 ± 0.1	35.9 ± 0.5	17.6 ± 0.2
J	27.7 ± 0.4	24.3 ± 0.1	22.2 ± 0.2	27.6 ± 0.4	36.1 ± 0.1	17.3 ± 0.1
FA	26.7 ± 0.4	24.1 ± 0.4	22.2 ± 0.1	26.0 ± 0.1	35.1 ± 0.1	17.4 ± 0.1
Control	26.8 ± 0.5	24.0 ± 0.2	22.3 ± 0.1	26.1 ± 0.1	35.0 ± 0.0	17.5 ± 0.1

注: 数据为平均值 ± 标准差, 重复数为 n=3, 无字母表示各数据无显著性差异。

Note: The data is average ± standard deviation, number of replication is 3, no letter means there is no significant differences between the data.

2.2 土壤速效养分的影响

嫩江试区各处理 (包括对照) 土壤碱解氮与播前相比都有所增加 (表 5), 增加最多的是 J 处理, Y 处理次之, 分别增加了 77.0 mg·kg⁻¹ 和 67.2 mg·kg⁻¹, 增加最少的是 S 处理, 为 46.2 mg·kg⁻¹; 与对照相比, J、Y 处理的碱解氮相对较高, 其他 3 个处理都低于对照。与播前相比, 土壤有效磷则增减不一, 对照降低的最多, 其次是 J 处理, 分别降低了 6.9 mg·kg⁻¹ 和 3.0 mg·kg⁻¹, S、Y 和 M 3 个处理均有所增加且幅度相近, 在 4.1 mg·kg⁻¹ ~ 4.8 mg·kg⁻¹ 之间; 速效钾只有 S 处理增加 (比播前增加 27 mg·kg⁻¹, 比对照增加 39 mg·kg⁻¹), 其他处理变化不大且增减不一。

与播前相比, 大庆试区 M 处理增加了土壤碱解氮约 31.5 mg·kg⁻¹, S 和 J 处理降低了碱解氮含量 18.0 mg·kg⁻¹ ~ 28.0 mg·kg⁻¹; M 处理有效磷含量增加了 11.0 mg·kg⁻¹, 其他处理均有所降低, 对照、S 处理分别降低了 6.4 mg·kg⁻¹ 和 5.7 mg·kg⁻¹; 各处理速效钾均呈现下降趋势。与对照相比, 有效磷均呈

现增加趋势, 其中 M 处理增加幅度最大, 为 $17.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其他 3 个处理增幅在 $2.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \sim 3.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间; 各处理速效钾无明显变化。

表 5 不同处理土壤速效养分 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Tab. 5 Available nutrients in different treatments

处理 Treatment	嫩江 Nenjiang			大庆 Daqing		
	碱解氮 Available N	有效磷 Available P	速效钾 Available K	碱解氮 Available N	有效磷 Available P	速效钾 Available K
播前 Before sowing	161.1 \pm 0.5	51.1 \pm 0.4	213 \pm 0.1	154.0 \pm 2.8	15.6 \pm 0.1	218 \pm 5.6
S	207.2 \pm 0.7	55.9 \pm 0.4	240 \pm 0.1	126.0 \pm 1.4	9.9 \pm 0.2	159 \pm 1.3
Y	228.2 \pm 0.6	55.2 \pm 0.6	212 \pm 0.1	150.5 \pm 4.2	12.1 \pm 0.1	162 \pm 2.0
M	210.7 \pm 0.2	55.2 \pm 0.2	195 \pm 0.2	185.5 \pm 1.0	26.6 \pm 0.2	160 \pm 2.8
J	238.0 \pm 0.2	48.1 \pm 0.2	195 \pm 0.1	136.5 \pm 1.5	11.7 \pm 0.2	169 \pm 1.6
FA	210.0 \pm 0.5	52.2 \pm 0.4	215 \pm 0.1	153.3 \pm 2.4	12.6 \pm 0.1	162 \pm 0.7
Control	220.5 \pm 0.5	44.2 \pm 0.1	201 \pm 0.1	154.0 \pm 0.5	9.2 \pm 0.1	166 \pm 0.1

注: 数据为平均值 \pm 标准差, 重复数为 $n=3$, 无字母表示各数据无显著性差异。

Note: The data is average \pm standard deviation, number of replication is 3, no letter means there is no significant differences between the data.

2.3 FA 对玉米光合指标的影响

黄腐酸 (FA) 属于气孔关闭型的蒸腾抑制剂, 是通过增加气孔阻力、减小气孔开度、推迟气孔最大开度出现的时间、缩短气孔开放的时间并减少开张的气孔数目等来降低农作物的蒸腾速率的^[18]。本试验选在玉米拔节期进行叶面喷施, 只选用了对照和 FA 叶喷的处理做比较。由表 6 喷施 FA 的小区植株叶面蒸腾速率平均为 $3.68 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (嫩江) 和 $2.61 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (大庆), 分别比对照减少 29.5% 和 24.3%; 气孔导度平均为 $129 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (嫩江) 和 $109 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (大庆), 分别比对照减少 30.6% 和 15.5%; 净光合速率平均为 $28.0 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (嫩江) 和 $29.5 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (大庆), 分别比对照增加了 16.7% 和 10.9%。嫩江试验区蒸腾速率、气孔导度达到差异极显著水平, 大庆试区蒸腾速率达到差异显著水平, 其他均不显著。

表 6 FA 叶喷对植株光合指标的影响
Tab. 6 Photosynthetic indexes in FA treatment

处理 Treatment	地点 Location	蒸腾速率 ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) EVAP	气孔导度 ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) GS	净光合速率 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) PN
Control	嫩江 Nenjiang	5.22 \pm 0.20 a	186 \pm 11 a	24.0 \pm 1.2
FA	嫩江 Nenjiang	3.68 \pm 0.17 b	129 \pm 2 b	28.0 \pm 1.0
Control	大庆 Daqing	3.45 \pm 0.33 a	129 \pm 18	26.6 \pm 1.7
FA	大庆 Daqing	2.61 \pm 0.20 b	109 \pm 10	29.5 \pm 1.4

注: 同一列内数据后完全不同字母表示在 0.05 水平上差异显著 (数据为平均值 \pm 标准差, 重复数为 $n=3$)。指标测定时间为拔节期。

Note: Different letters in one line mean significant differences at 0.05 level (data is average \pm standard deviation, number of replication is 3). Detecting time is jointing stage.

2.4 对玉米产量的影响

两个试验区株高和产量均以 J 和 M 处理为最高, 且试验区间差异较小。6 月 18 日 (拔节期) 调查株高, 嫩江试验区 J 和 M 与其他处理差异达到极显著水平 ($p < 0.01$, 表 5), 分别比对照高 13.0 cm 和 12.8 cm, 相对提高 24.8% 和 24.2%; S 处理最低, 其他几个处理间无明显差异; 产量结果表明 J 和 M 2 个处理产量分别达到 $11588 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $11657 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 比对照提高了 17.6% 和 18.3%。大庆试区 J 和 M

处理的株高分别高出对照 17.4 cm 和 17.9 cm, 相对提高 13.9% 和 14.3%; 产量增产 20.8% 和 19.6%, 并与其他处理达到差异极显著水平 ($p < 0.01$, 表 7)。2 个试验区株高及产量最低的均为 S 处理, 嫩江试区低于对照 4.8% 和 6.2%, 大庆试验区低于对照 7.8% 和 10.0%。

表 7 2 个试验区不同处理玉米株高及产量比较

Tab. 7 Maize height and yield in different treatments

处理 Treatment	嫩江 Nenjiang region			大庆 Daqing region		
	株高 (cm)	产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	增产率 (%)	株高 (cm)	产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	增产率 (%)
	Height	Yield	Increased rate	Height	Yield	Increased rate
S	49.7 \pm 0.7 bB	9 244 \pm 435 b	-6.2	115.2 \pm 2.1 cC	9 501 \pm 113 cC	-10.0
Y	51.2 \pm 0.3 bB	10 105 \pm 726 bB	2.5	122.9 \pm 2.2 bBC	10 688 \pm 365 bB	1.2
M	65.0 \pm 0.6 aA	11 657 \pm 435 aA	18.3	142.9 \pm 3.4 aA	12 630 \pm 166 aA	19.6
J	65.2 \pm 1.2 aA	11 588 \pm 199 aA	17.6	142.4 \pm 1.9 aA	12 756 \pm 254 aA	20.8
FA	52.1 \pm 1.6 bB	10 051 \pm 416 bB	2.0	121.8 \pm 2.0 bBC	10 792 \pm 248 bB	2.2
对照 Control	52.2 \pm 1.0 bB	9 855 \pm 437 bB	—	125.0 \pm 3.5 bB	10 560 \pm 376 bB	—

注: 同一列内数据后小写字母表示在 0.05 水平上差异显著, 大写字母表示在 0.01 水平上差异显著 (数据为平均值 \pm 标准差, 重复数为 $n=3$)。拔节期的株高, 嫩江为 6 月 18 日, 大庆为 7 月 1 日。

Note: Different small letters in one line mean significant differences at 0.05 level, capital letters mean significant differences at 0.01 level (data is average \pm standard deviation, number of replication is 3). Detecting time is at jointing stage, and Nenjiang is on 18th June, Daqing is on 1st July.

2.5 不同处理对玉米水分利用效率的影响

自然降水的水分利用效率与产量呈正相关趋势。由图 1 可以看出, 利用率最高的为光降解地膜覆盖和聚乙烯地膜覆盖, 与其他处理差异达到显著水平 ($p < 0.05$), 嫩江试区最高的为 M 处理, 达到 $26.2 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$, 其次是 J 处理, 为 $25.9 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$, 与对照相比分别提高了 19.0% 和 18.1%; 大庆试区最高的为 J 和 M 处理, 与对照相比分别提高了 20.2% 和 19.5%; 2 个试验区最低的均为 S 处理, 比对照降低 5.4% (嫩江) 和 9.2% (大庆); 大庆试验区水分利用效率高于嫩江区, 除 S 处理外, 其他处理差异均达到显著水平。

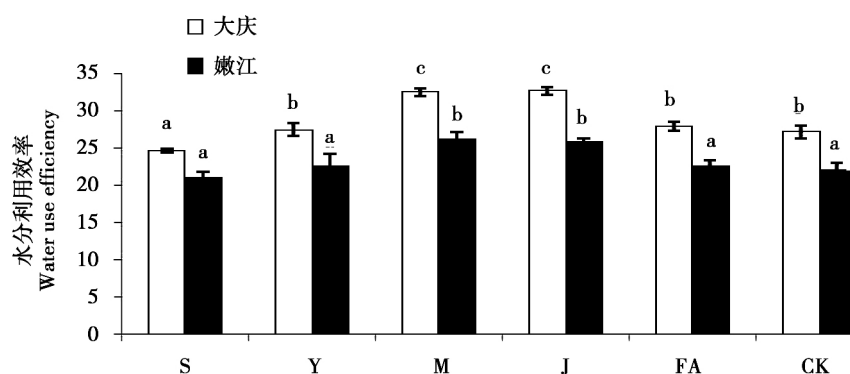


图 1 不同处理的水分利用效率

Fig. 1 WUE in different treatments

3 讨论与结论

在东北地区的北部和东部积温较低的地区, 以粮食生产为目的玉米地膜覆盖增产率达 35% ~ 55% 左右^[10], 而这主要的原因是地膜覆盖后能够提高土壤温度并改善水分状况^[18]。蔡太义等^[19]认为丰水年秸秆覆盖对作物产量影响不显著, 干旱年对作物产量影响显著。张俊鹏^[20]研究了在中水分的条件下地膜和秸秆覆盖保水效果显著。由于 2014 年玉米生育期降雨较多 (高于历年同期 103 mm), 土壤水分就不是作物

生长的主要限制因子,而是温度,也就是说土壤温度较高的覆盖技术条件下玉米的株高(尤其是在苗期)及产量也相对较高。

玉米拔节期前聚乙烯地膜覆盖、光降解地膜覆盖及秸秆整棵覆盖都具有良好的保墒作用。随着玉米生育的进程,地膜覆盖的保墒作用渐渐小于秸秆整棵覆盖,这是因为降解地膜降解速率与自然光强弱^[21]、降雨量有关^[22],到了7月份,随着温度的不断升高地膜降解速率增加,开始出现裂缝,保水性能也开始下降;还由于7、8月份降雨量增大(133.8 mm、176.3 mm),秸秆覆盖处理的降雨能从秸秆缝隙中下渗到土壤中,减少地表径流;同时秸秆覆盖有效抑制了蒸发耗水,将富余水分蓄存在土壤中,保证了作物生育中期关键的生产性蒸腾耗水。也正是由于秸秆覆盖在地表,阻碍了太阳辐射,使得土壤温度低于聚乙烯地膜和光降解地膜覆盖,这与王敏^[23]研究结果一致。虽然液体地膜覆盖比塑料地膜覆盖更有利于雨水向土壤中渗入,增加土壤水分含量,但在温度高、光照强的玉米生育中后期,地表蒸发是主要的限制因子^[12-13],这是在本试验中,液体地膜保水效果不好的主要原因。

2个试验区7月份调查结果显示,嫩江试区聚乙烯地膜覆盖保水效果低于降解地膜覆盖,而大庆试区聚乙烯地膜覆盖保水效果高于降解地膜覆盖。就本次试验分析主要有3个原因:其一,两地温度不同,这是最主要的,嫩江试区温度低,降解地膜降解速率小,而大庆试区温度高,降解速率大,故造成保水效果相对较差。其二,两地降雨量不同,2014年嫩江试区降雨量较多,无降解的聚乙烯地膜反而阻碍了降水的入渗,而降解地膜入渗较多。其三,嫩江试区土壤水分年蒸发量仅为降水量的1.3倍,而大庆试区为3.8倍,降解较大的降解地膜抑制蒸发的作用较小。

2个试验区有土壤养分的变化有着相同的趋势:(1)秸秆整棵覆盖土壤碱解氮较低;(2)降解地膜覆盖土壤有效磷较高。本次试验及以往研究表明,秸秆整棵覆盖土壤碱解氮之所以降低,其一是由于秸秆整棵覆盖后抑制了土壤温度的提升,从而抑制了土壤微生物的活性,降低了氮素的矿化程度;其二是由于大量秸秆还入农田,土壤微生物在分解碳水化合物化合物的同时从土壤中争夺了一定量的氮素^[24]。卜玉山等研究认为秸秆覆盖不同程度增加了土壤速效氮、磷、钾等养分含量^[25],而在本试验中,仅在嫩江地区秸秆覆盖有增加速效钾的趋势,这主要的原因可能是地域间的差异。降解地膜土壤有效磷较高的原因有待进一步研究。

作物生育期内90%的水分都是通过蒸腾作用而散失掉的,因此在干旱条件下如何降低作物的蒸腾作用就很有意义^[26]。抑制蒸腾剂就是在对光合作用和物质积累影响不大的情况下,改善作物的水分状况,使供应作物的水分不过度耗竭,提高WUE和产量。喷施黄腐酸可显著提高叶片的光合速率^[27],提高叶绿素含量及增强光合作用^[28],与本试验结果一致。朱自玺等^[3]研究结果显示,秸秆覆盖可有效提高水分的利用效率,增加了作物产量。这与本试验的结果相反,可能是由于朱自玺等研究的条件是在河南省一年两熟的种植制度下,而本试验是在北方低温区开展的,温度成为了结果的主要决定因素。在大庆试验区各处理的水分利用效益均比嫩江试验区好,这说明在蒸发量较大的地区开展抑蒸保墒的措施效果明显。所以在选用地表覆盖种类的同时,还应考虑地理位置、气候等因素,因地制宜,找出适合当地的覆盖方式。

参考文献:

- [1] Sharma P, Abrol V, Sharma R K. Impact of tillage and mulch management on economics, energy requirement and crop performance in maize - wheat rotation in rainfed subhumid inceptisols, India [J]. *European Journal of Agronomy*, 2011, 34 (1): 46 - 51.
- [2] Wang Y J, Xie Z K, Malhi S S, et al. Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on water use efficiency and crop yield in the semi - arid loess plateau, China [J]. *Agricultural Water Management*, 2009, 96 (3): 374 - 382.
- [3] 朱自玺, 方文松, 赵国强, 等. 麦秸和残茬覆盖对夏玉米农田小气候的影响 [J]. *干旱地区农业研究*, 2000, 18 (2): 19 - 24.
- [4] 周凌云, 徐梦雄. 秸秆覆盖对麦田耗水量与水分利用效率影响的研究 [J]. *土壤通报*, 1997, 28 (5): 205 - 206.
- [5] 张德奇, 廖允成, 贾志宽. 旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景 [J]. *干旱地区农业研究*, 2005, 23 (1): 208 - 213.
- [6] 吴涌泉, 屈明, 孙芬, 等. 秸秆覆盖对土壤理化性状、微生物及生态环境的影响 [J]. *中国农学通报* 2009, 25 (14): 263 - 268.

- [7] 胡宏亮, 韩之刚, 张国平. 生物降解地膜对玉米的生物学效应及其降解特性 [J]. 浙江大学学报 (农业与生命科学版), 2015, 41 (2): 179–188.
- [8] 周新国, 李彩霞, 强小嫚, 等. 喷灌条件下液膜覆盖对玉米干物质积累及水分利用效率的影响 [J]. 农业工程学报, 2010, 26 (11): 43–48.
- [9] 杜社妮, 白岗栓. 玉米地膜覆盖的土壤环境效应 [J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25 (5): 56–59.
- [10] 马树庆, 王琪, 郭建平, 等. 东北地区玉米地膜覆盖增温增产效应的地域变化规律 [J]. 农业工程学报, 2007, 23 (8): 66–71.
- [11] 胡芬, 陈尚谟. 旱地玉米农田地膜覆盖的水分调控效应研究 [J]. 中国农业气象, 2000, 21 (4): 14–17.
- [12] 杨青华, 韩锦峰, 贺德先, 等. 液体地膜覆盖保水效应研究 [J]. 水土保持学报, 2004, 18 (4): 29–32.
- [13] 俞满源, 方锋, 黄占斌. 保水剂、液态地膜在苗木栽植中的应用研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21 (3): 30–33.
- [14] 鲁向晖, 隋艳艳, 王飞, 等. 秸秆覆盖对旱地玉米休闲田土壤水分状况影响研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22 (3): 156–159.
- [15] 杜晓明, 徐刚, 许端平, 等. 中国北方典型地区农用地膜污染现状调查及其防治对策 [J]. 农业工程学报, 2002, 21 (S): 225–227.
- [16] 张冬梅, 池宝亮, 黄学芳, 等. 地膜覆盖导致旱地玉米减产的负面影响 [J]. 农业工程学报, 2008, 24 (4): 99–102.
- [17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [18] 何爽, 李茂松, 宋吉青, 等. 抑制蒸腾剂的研究进展 [J]. 中国农业气象, 2009, 30 (S1): 77–81.
- [19] 蔡太义, 贾志宽, 黄耀威, 等. 不同秸秆覆盖量对春玉米田蓄水保墒及节水效益的影响 [J]. 农业工程学报, 2011, 27 (S1): 238–243.
- [20] 张俊鹏, 孙景生, 刘祖贵, 等. 不同水分条件和覆盖处理对夏玉米籽粒灌浆特性和产量的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2010, 18 (3): 501–506.
- [21] Kijchavengkul T, Auras R, Rubino M, et al. Assessment of aliphatic – aromatic copolyester biodegradable mulch films. Part I: Field study [J]. Chemosphere, 2008, 71 (5): 942–953.
- [22] 赵爱琴, 李子忠, 龚元石. 生物降解地膜对玉米生长的影响及其田间降解状况 [J]. 中国农业大学学报, 2005, 10 (2): 74–78.
- [23] 王敏, 王海霞, 韩清芳, 等. 不同材料覆盖的土壤水温效应及对玉米生长的影响 [J]. 作物学报, 2011, 37 (7): 1249–1258.
- [24] Almendros G. An analysis of some wheat straw humification factors and their bearing on the response to compost of soil and plant [J]. Science of the Total Environment, 1989, 81–82: 569–578.
- [25] 卜玉山, 苗果园, 周乃健, 等. 地膜和秸秆覆盖土壤肥力效应分析比较 [J]. 中国农业科学, 2006, 39 (5): 1069–1075.
- [26] 杜太生, 康绍忠, 魏华. 保水剂在节水农业中的应用研究现状与展望 [J]. 农业现代化研究, 2000, 21 (5): 317–320.
- [27] 周莉娜, 孙丽蓉, 毛晖, 等. 黄腐酸抗旱营养剂对小麦和玉米生长的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30 (1): 154–158.
- [28] 袁瑞江, 姚银娟, 王丽乔, 等. 生物腐植酸 (黄腐酸) 及其在农业中的应用. 河北农业科学 [J], 2009, 13 (7): 36–38, 133.